

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	小 林 周	
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	理学博士	中迫 雅由
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学)	的場 正憲
	副査	慶應義塾大学教授	博士(理学)	能崎 幸雄
	副査	慶應義塾大学准教授	博士(理学)	渡邊 紳一
<p>(論文審査の要旨)</p> <p>学士(理学)、修士(理学) 小林 周君提出の学位請求論文は、「XFEL コヒーレント回折イメージング実験手法の開発と細胞イメージングへの応用」と題し、本論九つの章より構成されている。前世紀末に提案されたコヒーレント回折イメージングによる非結晶粒子のX線構造解析は、近年、高輝度X線光源であるX線自由電子レーザー(XFEL)の実用化によって、サブマイクロメートル空間階層での新たなイメージング手法として利用できる可能性が高まってきた。このような背景の下で、著者は、我が国のXFEL施設SACLAにおいて30 Hzで供給されるXFELパルスを効率的に回折イメージング実験で利用するために、回折装置制御や試料作製方法を考案し、世界でも類を見ないデータ収集効率を実現した。また、回折パターンから試料粒子の投影電子密度図を得る反復的位相回復法を発展させる理論を提案し、実験データ解析での実用化に成功した。これらにより、生体非結晶粒子の新しいX線構造解析の展開を目指した研究基盤の確立に大きく貢献した。</p> <p>第一章では、細胞内の空間階層構造と、既存のイメージング手法の概要をまとめながら、生体非結晶試料イメージングにおけるXFELコヒーレント回折イメージングの役割、現状と問題点について述べている。第二章では、X線回折の基礎理論に基づいたコヒーレント回折イメージングにおける構造解析及び反復的位相回復法の原理について記述している。第三章では、通常のレーザーとは異なるXFELの発振原理やSACLAにおける低温コヒーレント回折イメージング実験の概要について記し、利用した集光光学系、検出器を紹介している。</p> <p>第四章では、低温試料固定照射装置について紹介し、同装置を用いての高速データ収集の必要性を論じた後、30 Hzで供給されるXFELパルスを高効率で利用するために開発した、試料装填－交換－露光のための回折装置の制御方法について記している。同制御手法はSACLA加速器からのトリガー信号利用に踏み込むとともに、優れた操作性等を実現している。第五章では、高効率データ収集のためには、回折装置の制御だけでは達成が困難であることを論じた後、効率的データ収集を実現するための試料作製方法の開発と実用化について述べている。試料粒子を散布する薄膜の調整から散布方法、急速凍結の方法が示されている。第六章では、開発した装置制御手法及び試料調整方法によって可能となった効率的XFELコヒーレント回折イメージング実験の結果を示している。また、試料作製での環境制御が回折パターンにもたらす影響を実験で得た回折パターンから論じている。さらに、細胞や細胞内小器官の水和凍結試料に対する適用例を具体的に示すとともに、その生物学的意義を論述している。第七章では、回折パターンに中心対称性を有するマスクを施し、反復的位相回復によって投影電子密度図を回復する新たな像再生方法を提案している。その理論の概要、シミュレーション、実際に得られた金属材料試料及び細胞内小器官の回折パターンに対する適用例を示している。</p> <p>第八章では、本研究がもたらす将来展望として、多数の投影電子密度図から生体粒子の平均構造を三次元再構成できる可能性について論じながら、助走的研究の例として、サブマイクロメートルサイズのシアノバクテリアについて内部分布イメージングの展開例を示している。最後に、第九章において本研究を総括している。</p> <p>以上、著者は、XFELを用いたコヒーレント回折イメージング実験における高効率なデータ収集を実現する技術開発や像回復理論を考案・実用化して、非結晶生体粒子の構造解析でその有効性を示し、XFELコヒーレント回折イメージングを細胞生物学における新たなイメージング法として発展させることができたと評価できる。本論文の骨子である第四～七章の内容は、三報の学術論文として公表されており、研究内容は、広く理学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>				
学識確認結果	<p>学位請求論文を中心にして関連学術について、上記審査会委員で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。</p> <p>また、語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。</p>			